

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки Энергетическое машиностроение
Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Систематизация основ продления сроков использования котлов различной паропроизводительности	

УДК 621.181.12.07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Весельев Александр Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Артамонцев Александр Иванович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Парогенераторостроения и парогенераторных установок	Заворин Александр Сергеевич	д.т.н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Универсальные компетенции		
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-11), Критерий 5 АИОР (п. 2.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-2; ОПК-1; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.3., п. 2.4., п. 2.5.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач	Требования ФГОС ВО (ОК-1,3; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте	Требования ФГОС ВО (ОК-1; ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке	Требования ФГОС ВО (ОК-2,3;ОПК-2,3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профессиональные компетенции		
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,3), Критерий 5 АИОР (п. 1.3.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и вырабатывать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-1,2,5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,2; ПК-4,5,6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4, п. 1.6.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области	Требования ФГОС ВО (ОПК-1; ПК-7,8,9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре	Требования ФГОС ВО (ПК-9,10), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.1.), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт Энергетический

Направление подготовки 130303 Энергетическое машиностроение

Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Заворин А.С.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4Б	Весельеву Александру Петровичу

Тема работы:

**Систематизация основ продления сроков использования котлов различной
паропроизводительности**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

03.02.16, № 715/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объекты исследования – Паровые котлы ТЭЦ г. Северска выработавшие расчетный срок службы
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Аналитический обзор литературы Объекты и методы исследования Результаты и их обсуждение Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение по работе
Перечень графического материала	Презентация PowerPoint Таблица систематизации данных об использовании котлов сер ТЭЦ
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Систематизация основ продления сроков использования котлов различной паропроизводительности	к.т.н., доцент Артамонцев А.И.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., доцент Попова С.Н.
Социальная ответственность	к.т.н., Романцов И.И.
Английский	ст. преподаватель Собинова Л.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<p>На русском языке:</p> <p>Техническое обслуживание и ремонт оборудования;</p> <p>Техническое диагностирование котлов;</p> <p>Организация проведения технического диагностирования;</p> <p>Проведение технического диагностирования котлов;</p> <p>Продление срока службы;</p> <p>Реконструкция и модернизация;</p> <p>Замена парового котла после выработки всех ресурсов</p> <p>На английском языке:</p> <p>Equipment maintenance and repair;</p> <p>Technical diagnosis of boilers;</p> <p>Arrangement of the technical diagnosis procedure;</p> <p>Implementation of the boiler diagnosis procedure;</p> <p>Service life extension;</p> <p>Renovation and upgrading;</p> <p>Steam boiler replacement upon service life exhaustion</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	14.03.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Артамонов Александр Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Весельев Александр Петрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM4Б	Весельев Александр Петрович

Институт	Энергетический	Кафедра	Парогенераторостроения и парогенераторных установок
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является монтаж парового котла, в полном или частичном объеме, установленный на теплоэлектростанции.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	<i>Стоимость строительства и монтажа оборудования</i>
2. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	<i>Проведен расчет окупаемости различных видов замены</i>
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	<i>Проведенная оценка рентабельности проекта, полной или частичной замены парового котла</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)
2. Таблица 2 – Сводная таблица капиталовложений в сооружение парового котла
3. Таблица 3 – Стоимость затрат на замену выработавшего свой ресурс паровых котлов

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM4Б	Весельев Александр Петрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4Б	Весельев Александр Петрович

Институт	Энергетический	Кафедра	Парогенераторостроения и парогенераторных установок
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является паровой котел установленный на теплоэлектростанции.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования: - Электробезопасность; - Производственный шум; - Естественное и искусственное освещение; - Защита от различных вредных факторов.	<i>Основными вредными факторами при работе в рассматриваемой рабочей зоне являются факторы, связанные с электрическим током, уровнем шума и освещением. Необходимо предложить мероприятия по уменьшению воздействия вредных факторов и привести возможные средства защиты.</i>
2. Экологическая безопасность: Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду: - Расчет выбросов твердых частиц; - Расчет выбросов оксида серы.	<i>Рассматриваемый котельный агрегат оказывает воздействие на окружающую среду. Основным являются производимые выбросы в атмосферу. Рассчитать значения основных выбросов.</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	<i>Наиболее возможными ЧС в рассматриваемой рабочей зоне является возникновение пожара. Для их предупреждения необходимо строгое соблюдение правил безопасности и норм, определяющих порядок работы с оборудованием. Рассмотреть средства, определяющие действия при возникновении ЧС и их ликвидации.</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: Специальные (характерные для рабочей зоны рабочего персонала) правовые нормы трудового законодательства.	<i>Определить порядок и организацию работы в рассматриваемом помещении, обеспечивающие безопасные и комфортные условия труда, с соблюдением санитарных и технологических норм.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов Игорь Иванович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4Б	Весельев Александр Петрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 102 страниц, 11 рисунков, 11 таблиц, 34 источников, двух приложений.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, паровой котел, расчетный срок службы, барабан, поверхности нагрева, каркас, монтаж.

Объектом исследования являются паровые котлы выработавшие расчетный срок службы.

Цель работы – систематизация способов использования котлов отработавших свой ресурс или расчетный срок службы.

В процессе исследования проводилась серии исследовательских работ по сбору и систематизации данных, проведение прочностных расчетов.

В результате исследования был определен наиболее целесообразный способ использования котлов после окончания срока службы.

В данной работе были рассмотрены энергетические котлы теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) города Северска, рассмотрены их параметры, результаты технического диагностирования, расчеты на прочность, а так же варианты модернизация. Проведена экономическая оценка разных вариантов модернизации.

Сокращения определения

ТЭС – тепловая электростанция

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль

КПД – коэффициент полезного действия

НДС – нормативно-техническая документация

НК – неразрушающий контроль

НДС – напряженно-деформированное состояние

ЗНК – зона концентрации напряжения

КВО – котельно-вспомогательное оборудование

ХВО – химводоочистка

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ 2.105-95 ЕСКД Единая система конструкторской документации.

Общие требования к текстовым документам.

2 ГОСТ 7.1 – 2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов.

3 ГОСТ 7.11 – 2004 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

4 ГОСТ 7.11 – 2004 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

Оглавление

Введение	14
1. Техничко-экономический обоснование	16
1.1 Ситуация на зарубежных электростанциях	17
1.2 Ситуация в Российской энергетике	19
2. Теоритическая часть	22
2.1 Возможность дальнейшего использования котлов после окончания срока службы	23
2.1.1 Демонтаж котла, монтаж в старой ячейке нового котла по возможности большей производительности	23
2.1.2 Монтаж вновь изготовленных по старому или новому проекту поверхностей нагрева и трубопроводов в пределах котла	26
2.2 Техническое обслуживание и ремонт оборудования	29
2.3 Техническое диагностирование котлов	32
2.3.1 Организация проведения технического диагностирования	33
2.3.2 Проведение технического диагностирования котлов	34
2.4 Продление срока службы	37
2.5 Реконструкция и модернизация	38
3. Расчетная часть	41
3.1 Проверочный расчет на прочность барабана	41
3.1.1 Расчет выборки 11 на внутренней поверхности барабана	41
3.1.2 Расчет выборки 17 на внутренней поверхности барабана	43
3.1.3 Расчет выборки 22 на внутренней поверхности барабана	46
3.2 Расчет на прочность и определение остаточного ресурса коллектора пароперегревателя	48
3.2.1 Методика эквивалентной температуры	49
3.2.2 Определение по справочным данным	54
4. Результаты и их обсуждение	57
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60

5.1	Хозяйственные цели научного исследования	60
5.2	Анализ конкурентных технических решений	60
5.3	Расчет капитальных вложений	63
6.	Социальная ответственность	67
6.1	Производственная безопасность	67
6.1.1	Электробезопасность	68
6.1.2	Производственный шум	69
6.1.3	Естественное и искусственное освещение	71
6.1.4	Микроклимат	73
6.1.5	Защита от различных вредных факторов	74
6.2	Экологическая безопасность	75
6.2.1	Расчет выбросов твердых частиц	76
6.2.2	Расчет выбросов оксида серы	78
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
6.4	Правовые и организационные вопросы безопасности	81
	Заключение	83
	Список публикаций студента	84
	Список использованных источников	85
	Приложение А	89
	Приложение Б	102

Введение

Если рассматривать возраст работающего оборудования теплоэлектростанции (ТЭС), то можно заметить, что 38 % энергетического оборудования введено в эксплуатацию еще до 1970 г. (хотя есть и более старое), а 2/3 установленного оборудования имеют возраст более 20 лет [1].

Сегодня технический уровень оборудования, установленного на ТЭС России, существенно ниже современного, и выражаются, прежде всего, в повышенных расходах на ремонт, большом пережоге топлива и, соответственно, в плохих экономических показателях станции.

Причиной такого низкого технического уровня является физическое старение из-за его длительной работы. Хотя при капитальных ремонтах происходит восстановление работоспособности оборудования, но в процессе длительной работы возникает износ элементов котлов и вспомогательного оборудования. Возникает все больше отказов элементов энергетического оборудования, ухудшаются характеристики их надежности. В конечном счете, это приводит к уменьшению абсолютного КПД ТЭС, в зависимости от срока службы на 1–2 %.

В последнее время становится актуальным вопрос «физического» старения энергетического оборудования, который связан с окончанием расчетного срока службы и неоднократным его продлением в пределах остаточного.

При выработке индивидуального срока службы и длительной эксплуатации увеличиваются затраты на поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Также приходится проводить техническое диагностирование наиболее напряженных или подверженным наибольшему дефектообразованием элементов оборудования. При этом после продления срок службы оборудования сокращается.

В настоящее время основная проблема энергетики России заключается в том, что большая часть оборудования ТЭС исчерпала свой расчетный срок

службы и приближается к его выработке. В связи с этим появляется серьезная угроза лавинообразного выхода из строя энергооборудования, что заставляет серьезным образом задуматься о продлении сроков использования котлов или их замене после окончания их срока службы [1].

Целью данной работы является систематизация способов использования котлов отработавших свой ресурс или расчетный срок службы.

Задачи исследования:

- провести диагностическую оценку условий работы котлов по окончании назначенного срока службы;
- провести работу по сбору и систематизации данных по использованию котлов после окончания их срока службы;
- рассмотреть и определить наиболее предпочтительные способы реконструкции или замены котлов.

Объект исследования являются котлы отработавшие свой ресурс или срок службы, на основании данных Северской ТЭЦ.

Практическая значимость. Использование данной работы применимо для выработки решения о варианте дальнейшего использования котлов после окончания срока службы.

Результаты исследования и систематизации способов использования котлов, отработавших свой ресурс, может быть использовано инженерно-технических отделом при определении варианта использования котлов после выработки индивидуального ресурса или срока службы.

1 Технико-экономическое обоснование

В связи с дефицитом инвестиций на ТЭС проводится техническая диагностика оборудования, рассчитывается остаточный срок службы и проводится продление срока использования оборудования [2].

В последние годы обострилась проблема связанная с регулярными отключениями электроэнергии, невысоком качестве, и недостаточном ее количестве. Это происходит из-за интенсивного роста энергопотребления, старения энергооборудования и отсутствия инвестиций на обновление котлов и котельно-вспомогательного оборудования (КВО).

Непрерывно возрастает доля котлов, отработавших свой назначенный ресурс, поэтому требуется разработка нормативно-технической документации, регламентирующей этот процесс. А также возрастают объемы выполняемых работ по дефектоскопии и контролю состояния металла.

Существовавшая во всем мире практика проектирования котлов, на срок службы до 100 тыс. ч., не оправдала себя. В настоящее время котлы работают со сроком службы 200 и 300 тыс. ч., в связи с чем разработана таблица допускаемых напряжений и готовится нормативная база оборудования со сроком службы более 200 тыс. ч. [3].

Длительная эксплуатация энергооборудования под воздействием высоких нагрузок температуры и рабочей среды вызывает снижение качества материала, утонение стенок и образование трещин. Для прогнозирования ресурса и определения дополнительных сроков эксплуатации энергетического оборудования необходимо располагать достоверными сведениями работоспособности основного материала и сварных соединений.

Значительная часть эксплуатируемого оборудования в России уже отработала свой расчетный ресурс, а некоторые и превышают срок службы в два и более раз. Оборудование было спроектировано и изготовлено согласно требованиям 30–40 летней давности. Применяемые в то время коэффициенты

запаса прочности были основаны на испытаниях с временной базой в 100 тыс. часов [3].

В настоящее время полученные знания показали, что расчетный ресурс может быть существенно повышен. С другой стороны, при длительной эксплуатации энергетического оборудования стали чаще возникать трещины, дефекты основного металла и сварных швов.

В связи с этим появилось противоречие, с одной стороны, стремление увеличить длительность эксплуатации. С другой стороны, при длительной эксплуатации деталей энергооборудования стали ухудшаться прочностные характеристики.

Отсюда появляется необходимость своевременного диагностирования оборудования, выявления повреждений и дефектов. В том случае, если повреждения или появления дефектов деталей превышают допустимые значения – требуется ремонт оборудования или замена его частей. В случае невозможности ремонта, моральной деградации оборудования или высокой стоимости работ встает вопрос о возможности дальнейшего использования котлов путем модернизации или замены (частичной, полной).

В данной работе рассматриваются различные виды реконструкций, с оценкой экономической составляющей, полная замена котельного оборудования, а так же показана систематизация основ продления срока использования котлов.

1.1 Ситуация на зарубежных электростанциях

В экономике многих стран складываются условия, под влиянием которых инновационное развитие их национальных энергетических систем выходит на качественно новый уровень. Повышается интерес к совершенствованию традиционных технологий энергетического производства и предопределяет активный поиск экономически эффективных направлений использования возобновляемых источников энергии [4].

На зарубежных теплоэлектростанциях при инвестициях и возможностях монтажа усовершенствованного оборудования возможно не применять метод продления назначенного срока службы оборудования. При достижении расчетного срока службы энергетическое оборудование выводится из эксплуатации (рисунок 1). Взамен на станции производится монтаж нового идентичного оборудования или установка усовершенствованного энергоблока, который в свою очередь обладает улучшенными показателями надежности, существенно меньшим расходом топлива на выработку электроэнергии и большую маневренность.

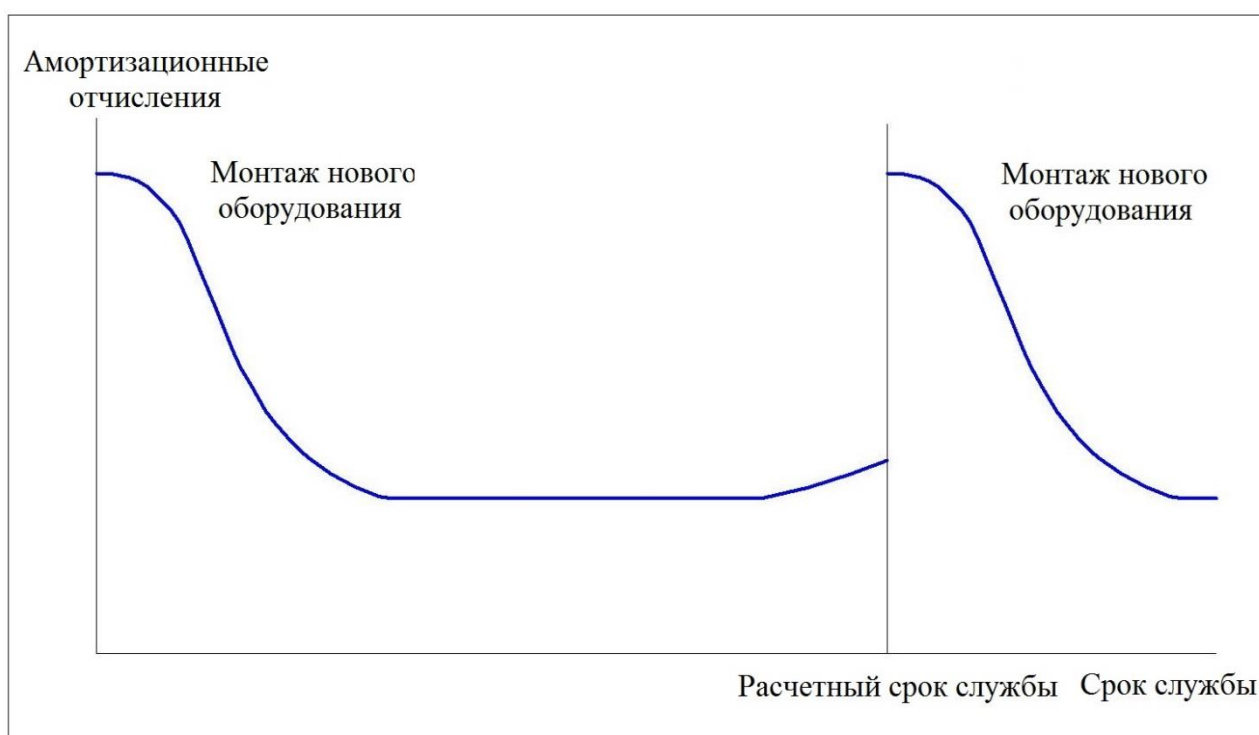


Рисунок 1 – График амортизационных отчислений за время работы котла на зарубежных станциях

В результате своевременной замены отработавшего свой расчетный срок службы оборудования:

- используются коэффициенты запаса прочности, рассчитанные на этот период, в связи с этим уменьшается металлоёмкость оборудования;
- исключаются дополнительные затраты на ремонт оборудования.

1.2 Ситуация в Российской энергетике

Оценка потенциала промышленной энергетики показывает, что необходимо заменить устаревшее оборудование на новое, которое будет сопровождаться капитальными затратами.

В настоящее время средний возраст оборудования теплоэлектростанций составляет тридцать лет. Возраст генерирующего оборудования: до тридцати лет – 41 %; от тридцати одного года до пятидесяти лет – 52 %; более пятидесяти лет – 7 %. Около 60 % паровых котлов ТЭС уже выработали парковый ресурс (рисунок 2) [4].

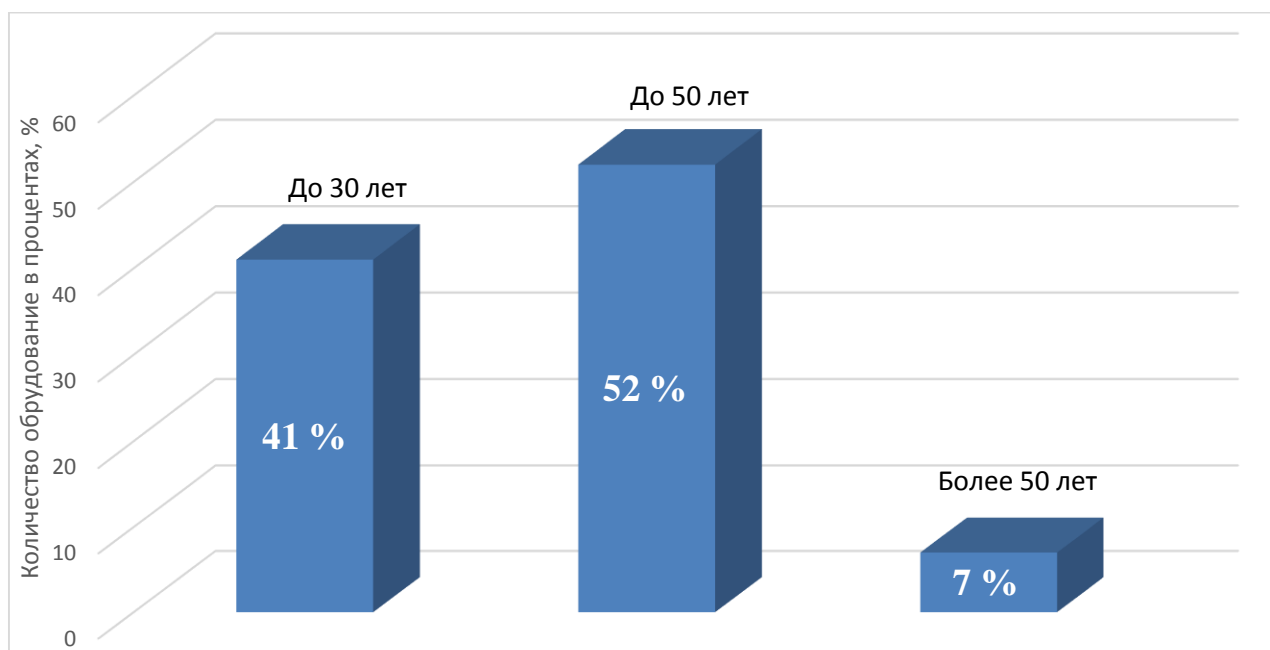


Рисунок 2 – Распределение мощностей ТЭС России по выработке котлов

Большой парковый ресурс также характерен и для Северской ТЭЦ. Большая часть котлов была введена более 50 лет назад, наработка котлов представлена в приложение Б.

Из-за недостаточного финансирования теплоэлектростанций большое количество оборудования имеет продленный назначенный срок службы.

На рисунке 3 показан график амортизационных отчислений за время работы котла в расчетный срок службы и после его продления.

Из графика видно, что затраты после установки оборудования на станции уменьшаются до определенной отметки и ведут себя равномерно до окончания расчетного срока службы. В период от расчетного срока службы до монтажа нового оборудования затраты на ремонт и диагностику оборудования существенно увеличиваются. Это происходит в связи с физическим старением котла.

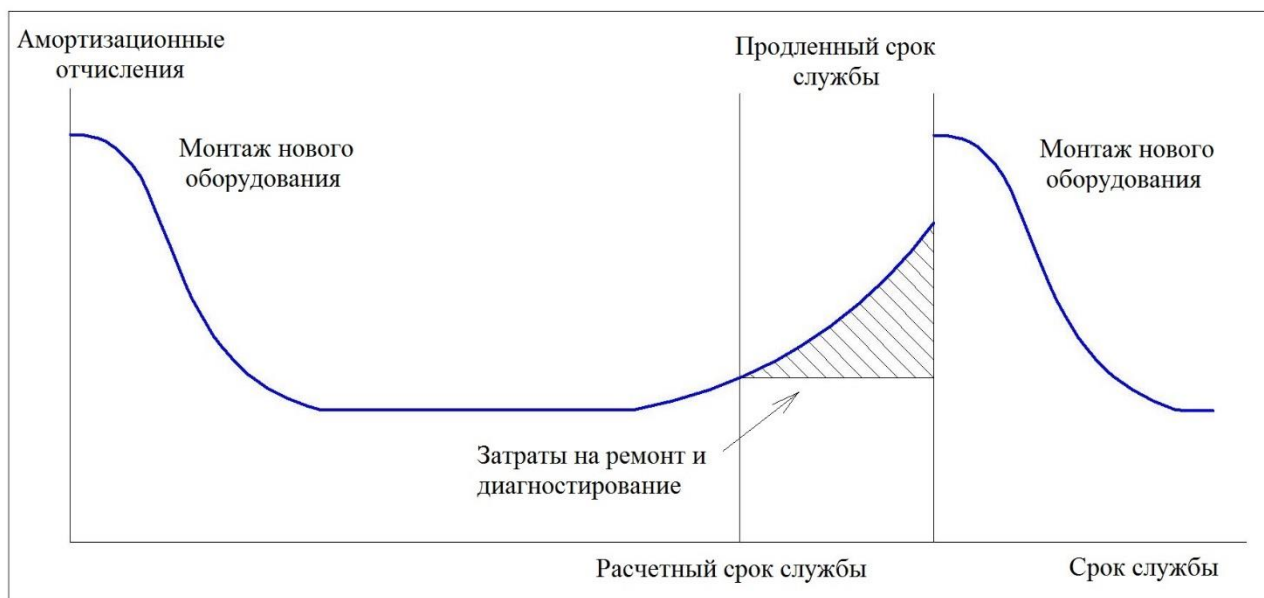


Рисунок 3 – График амортизационных отчислений за время работы котла в России

Так же требуется отметить, что высокая степень изношенности станций ведет к снижению надежности и эффективности их работы. Например, КПД – важнейший показатель работы ТЭС, составляет в России 36,6 %, в то время как мировой уровень составляет 39–41,5 % [4].

Недалекое будущее прогнозируется суровым. Большинство действующих энергоблоков исчерпают парковый ресурс к 2020 году. Причем возраст блоков мощностью 150–160 МВт и около трети блоков 200–210 МВт превысит 50 лет [5].

Многие специалисты приходят к выводу, что нынешнее техническое состояние электростанций России может привести к лавинообразному выходу из строя энергетического оборудования на всей территории России, от Калининграда до Владивостока [6].

Нужна замена морально устаревших и физически изношенных котлов на новые. Установка новых систем химводоподготовки, что обеспечит снижение отложений на поверхностях нагрева котлов и возможного предотвращения перегрева труб.

Такую экстремальную ситуацию способны предотвратить федеральные меры, опирающиеся на масштабные или частные государственные инвестиции. В основу этой работы положен целый ряд взаимоувязанных документов [5]:

- энергетическая стратегия России до 2030 года.
- генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года с учетом перспективы до 2030 года.
- сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года.
- схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2012–2018 годы.

2 Теоретическая часть

В настоящее время, при окончании индивидуального срока службы котла или ресурса элемента проводится техническое диагностирование. Определяется возможность его дальнейшей эксплуатации или производится замена элемента на аналогичный, по имеющимся проектам. На Северной ТЭЦ срок службы вновь смонтированных котлов БКЗ 21-9,8-2 составляет 40 лет, а ресурс его элементов: для барабана – 300 тыс. ч., для поверхностей нагрева – 100 тыс. ч., для трубопроводов в пределах котла – 200 тыс. ч.

Старые котлы Северной ТЭЦ имеют экраны оборудованные трубами с зазором. Натрубная обмуровка выполнена жесткими известково-кремнеземистыми матами. Поверх обмуровки устанавливаются листы обшивки, которые крепятся к каркасу котла. Поверхности водяного экономайзера изготовлена из гладких труб.

Но новых котла Северной ТЭЦ экраны выполнены в газоплотном исполнении. Обмуровка на экранах облегченная, из мягких матов. На поверхность матов наносится штукатурный слой. В этом случае обмуровка котла крепится вместе с панелями экранов. Эта конструкция более надежна и экономична. Удобна при проведении дефектоскопии и ремонта. Металлоёмкость экранных поверхностей уменьшается. Поверхности водяного экономайзера выполнены продольно-ребренными трубами, что увеличивает их эффективность. Барабаны изготовлены из стали 16 ГНМА.

Вследствие тяжелых воздействий на металл, котельное оборудование должно подвергаться техническому освидетельствованию в процессе эксплуатации. После выработки паркового ресурса требуется проведения контроля металла, способствующего продлению срока службы оборудования. Парковый ресурс зависит от элемента котельного агрегата.

Элементы и детали оборудования, достигая паркового ресурса, допускаются к дальнейшей эксплуатации только при положительных результатах технического диагностирования [7].

Порядок организации контроля оборудования и продления срока его службы, за пределами паркового ресурса, индивидуален для каждого элемента котла [8].

2.1 Возможность дальнейшего использования котлов после окончания срока службы

В настоящее время используются следующие три способа замены паровых котлов после окончания срока службы, выработки расчетного ресурса или разрешённого количества пусков [1]:

а) демонтаж котла, монтаж нового котла и КВО во вновь построенное здание;

б) демонтаж котла, монтаж в старой ячейке нового усовершенствованного котла, по возможности большей производительности. Как правило, КВО заменяется частично или полностью;

в) демонтаж поверхностей нагрева и трубопроводов в пределах котла. Проведение технического диагностирования барабана и металлоконструкций каркаса котла, и доведение их до работоспособного состояния, а также:

1) Монтаж вновь изготовленных по старому проекту поверхностей нагрева и трубопроводов в пределах котла;

2) Проектирование и изготовление поверхностей нагрева и трубопроводов в пределах котла с улучшенными характеристиками.

Далее представлены некоторые варианты более подробно.

2.1.1 Демонтаж котла, монтаж в старой ячейке нового котла по возможности большей производительности

Данный способ подразделяется на несколько вариантов:

1) монтаж на новый фундамент;

2) монтаж на старый фундамент;

3) монтаж с использованием переходной (фундаментной) рамы.

При первом варианте, за счет увеличения габаритов появляется возможность установки современных котлов. Однако, габариты новых паровых котлов ограничены размерами котельной ячейки. Это способ позволяет увеличить КПД котла, но в свою очередь возрастает объем работ и затраты на строительство нового фундамента (см. таб. 7).

При втором варианте, размер парового котла не возможно увеличить, в связи с заданными размерами фундамента. Монтаж усовершенствованного котла ведется на старый фундамент. Это способ позволяет уменьшить время строительства и финансирование (см. таб. 7).

При третьем варианте, возможен монтаж усовершенствованного котла с увеличенными габаритными размерами, в имеющуюся ячейку. В данном случае проводится техническое обслуживание фундамента. В случае подтверждения его работоспособности, фундамент используют для строительства нового котла. Для увеличения габаритов котла используется переходная рама. Рама устанавливается на сам фундамент и находится ниже уровня «чистых полов» цеха.

Рассмотрим паровой котел БКЗ-230-9,8-2, стационарный номер 16. Каркас котла представляет пространственную жесткую рамно-связевую конструкцию, состоящую из колонн, ригелей, связей и потолочного перекрытия, опирающегося на колонны каркаса топки и конвективной шахты. Фундаментная рама изготовленной из стали 09Г2С-12 (рисунок 4) [9].

Монтаж фундаментной рамы, каркаса котла и потолочного перекрытия может производиться как отдельными элементами (колоннами, ригелями, балками, раскосами), так и собранными рамными конструкциями.

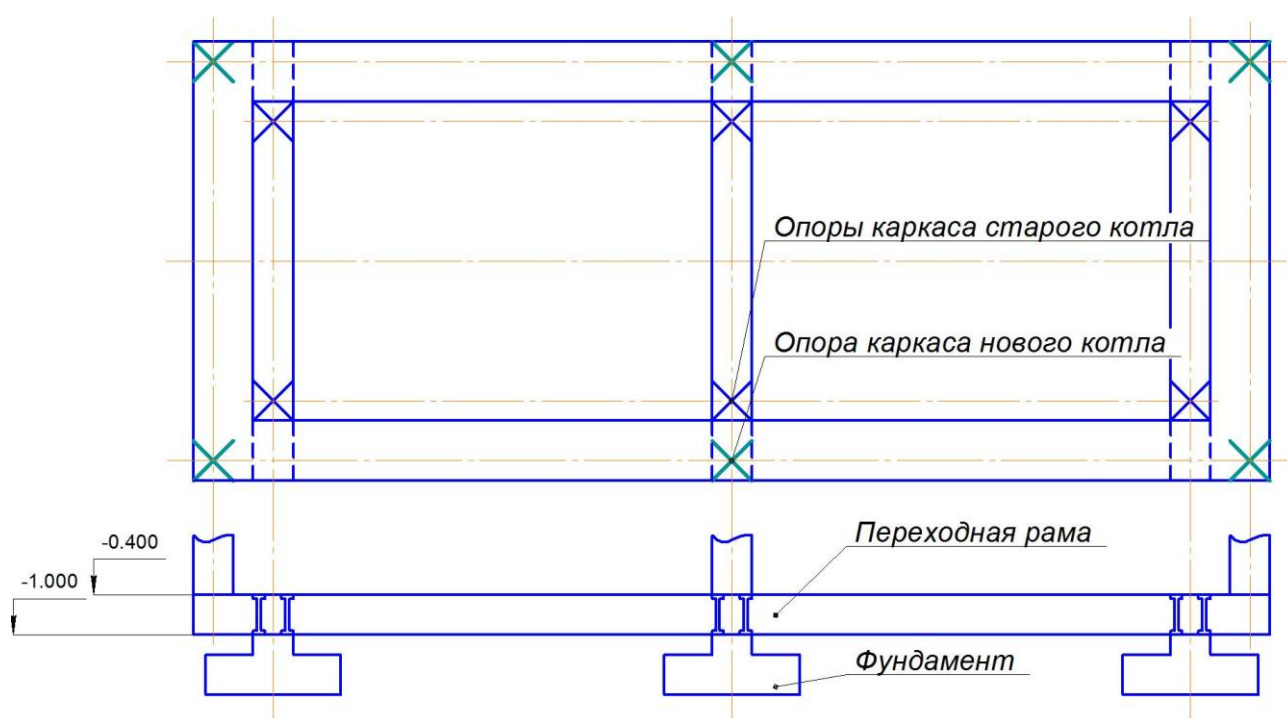


Рисунок 4 – Схема переходной рамы каркаса котла при установке на старый фундамент

Укрупненные блоки фундаментной рамы устанавливаются на принятый по акту фундамент. Фундаментную раму следует устанавливать на заранее выложенные подкладки из листового металла, изготовленные с учетом фактического зазора между рамой и фундаментом.

После проверки установленной фундаментной рамы по размерам в плане и высотным отметкам производится крепление рамы анкерами к фундаменту.

После установки, выверки и закрепления фундаментной рамы производится подливка опорных узлов рамы в соответствии с проектом. Зазор между опорной поверхностью рамы и фундаментом должен быть не менее 50 мм.

Подливка выполняется бетоном, марка которого заложена в проекте фундамента котла организацией, проектирующей фундамент, но не ниже марки бетона, из которого выполнен фундамент. Фракционный состав подливаемого бетона принимается исходя из фактического зазора между рамой и фундаментом. Размер отдельных фракций бетона не должен превышать 1/3 этого зазора.

Подливка производится путём укладки бетона на одну сторону опалубки и проталкивания его с помощью вибратора до заполнения пространства между рамой и фундаментом. Выход бетона с противоположной стороны свидетельствует о полном заполнении зазора и окончании подливки.

Фундаментная рама позволяет увеличить габариты котла, соответственно возрастают параметры пара (таблица 1) и паропроизводительность. Так же уменьшается стоимость всех работ и не тратятся инвестиции на строительство нового фундамента.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики старых и новых котлов Северской ТЭЦ

Характеристики	Станционный котел №5		Станционный котел №16	
	Демонтированный	Новый	Демонтированный	Новый
Марка котла	ТП-230-2	БКЗ-230-9,8-2	ТП-10	БКЗ-230-9,8-2
Паропроизводительность, т/ч	230	230/250	220	230/250
Температура перегретого пара, С ⁰	510	540	240	540
Давление перегретого пара, МПа	9,8	9,8	9,8	9,8
Используемое топливо	Уголь	Уголь, Природный газ	Уголь	Уголь, Природный газ
Количество барабанов	2	1	1	1
Тип топочной камеры поверхности	Не газоплотная	газалотная	Не газоплотная	газоплотная

2.1.2 Монтаж вновь изготовленных по старому или новому проекту поверхностей нагрева и трубопроводов в пределах котла

Паровой котел имеет назначенный срок службы, а так же назначенный ресурс работы отдельных элементов, таких как барабан котла, поверхности

нагрева, трубопроводы и коллекторы. Современные котлы имеют срок службы 40 лет.

Котел ограничен в количестве пусков из холодного состояния. Количество пусков определяется заводом изготовителем котла и составляет, в среднем, 300 пусков. В первую очередь при длительной эксплуатации котла вырабатывается назначенный ресурс или срок службы его элементов, таких как экранные поверхности топки и поверхности пароперегревателей, ресурс которых составляет 100 тыс. ч. Затем вырабатывается ресурс трубопроводов в пределах котла, который составляет 200 тыс. ч., далее ресурс барабана: для двухбарабанных – 200 тыс. ч., для однобарабанных котлов 300 – тыс. ч. В современных условиях, диспетчерский график нагрузки станции постоянно меняется, увеличивается количество остановов и пусков котла из холодного состояния. В связи с этим, актуальна быстрая выработка количества пусков.

В случае если один из элементов котла выработал назначенный ресурс проводится техническое диагностирование. Выполняется расчет на прочность, при этом проводится расчет остаточного ресурса. Далее происходит процедура продления срока службы котла, в пределах остаточного срока.

При выработке ранее продленного срока службы встает вопрос о изготовлении элемента. Появляется возможность изготовить элемент по старому проекту или разрабатывать новый.

Если эксплуатации каркаса и обмуровки котла ведется при умеренных параметрах, при незначительно повышенной температуре и относительно не высоких напряжениях, то возможно его длительное использование, при условиях проведения необходимого ремонта [3].

Основными дефектами котла являются: стояночная коррозия, высокотемпературная коррозия и повреждения элементов конструкции.

После окончания назначенного срока службы барабана проводятся работы по продлению срока в пределах остаточного. Остаточный срок службы рассчитывается по результатам технического диагностирования, при условии

ремонта имеющихся дефектов. Последующие сроки продления уменьшаются [10].

Во время эксплуатации производится своевременный ремонт экранов топки, а так же замена труб выработавших свой назначенный ресурс. После выработки ресурса перед заказчиком стоит вопрос о изготовлении поверхностей нагрева по старому проекту или заказать новый проект (в газоплотном исполнении, с облегченной обмуровкой, уменьшенной металлоёмкостью). Это позволит увеличить надежность работы котла и возможность продления срока службы экранных поверхностей сверх назначенного ресурса.

Дефекты экранных поверхностей происходят в связи с работой в тяжелых условиях. Повреждение поверхностей нагрева связано с повышенной опасностью. Внутреннее давление и дополнительные усилия, вызванные весовыми нагрузками, тепловыми расширениями и рядом других факторов, приводят к тому, что поверхности нагрева работают в сложнапряженном состоянии [11].

При окончании назначенного срока службы элементов пароперегревателя и трубопроводов в пределах котла, проводится оценка технического состояния. Ведутся расчеты на прочность и расчеты остаточного ресурса. Трубы и коллектора, выполненные из легированной стали, проходят испытания для определения механических свойств и степени изменения структуры металла.

Также на котлах используются элементы не имеющие назначенного ресурса, требующие замены или модернизации при длительной эксплуатации. Например, на нижней ступени водяного экономайзера происходит высокотемпературный коррозионный износ, в связи с этим появляется необходимость в замене блоков.

При возможности использования на ТЭЦ дополнительного вида топлива, применяется сжигание природного газа. Его использование вовлечёт за собой перерасчет котла, с обязательной реконструкцией горелочных устройств.

Установка новых поверхностей нагрева и трубопроводов производится на старый фундамент в те же геометрические размеры каркаса.

Например, проводилась частичная замена котла ТП-230-2, стационарный номер 10, на Северской ТЭЦ.

Для барабана и каркаса были произведены:

- диагностика;
- устранение дефектов;
- проведение поверочных расчетов;
- определение остаточного срока службы;

По результатам работы было принято решения о его дальнейшем использовании при реконструкции котла (см. раздел 3.1).

Котлы, при одноименной длительности эксплуатации, могут быть подвержены повреждениям различной степени. Например, каркасы котлов ТП-230-2 ТЭЦ города Северска менее подвержены стояночной коррозии, но имеют элементы деформированные в следствие высокотемпературной коррозии (верхняя часть каркаса). Для котлов БКЗ 210-140 Ф, Барнаульской ТЭЦ-2, характерно повышенное значение стояночной коррозии, повлекшая за собой начало пластической деформации нижней части каркаса. Степень высокотемпературной коррозии соизмерима с котлами Северской ТЭЦ.

Из выше сказанного следует что, после окончания срока службы перед руководством ТЭЦ встает вопрос о вариантах дальнейшего использования котла.

2.2 Техническое обслуживание и ремонт оборудования

Одним из основных условий надежной работы энергетического оборудования является ремонт и качественное техническое обслуживание. Проводится диагностика назначенного срока службы в определенные периоды времени, в следствие чего восстановление или замена поврежденных и изношенных деталей и узлов. При соблюдение этих условий оборудование будет работать бесперебойно и экономично вырабатывать тепловую и электрическую энергию.

Ремонт – восстановление поврежденных, изношенных или пришедших в негодность по любой причине элементов оборудования под давлением с применением неразъемных (сварных) соединений в целях приведения его в работоспособное состояние [10].

Техническое обслуживание и ремонты регламентируются нормативно-технической документацией (НТД). Ответственность за техническое состояние энергетического оборудования теплоэлектростанции несут энергопредприятия, на которых оно установлено. Основные обязанности энергопредприятий [12]:

- обеспечение проведения диагностики и контроля технического состояния энергооборудования;
- определение объемов работ по обслуживанию, капитальных, средних и текущих ремонтов и их планирование;
- обеспечение проектно-сметной документацией, материалами и финансами;
- приемка оборудования из ремонта и оценка качества.

Ремонтный персонал предприятий выполняет техническое обслуживание и все плановые ремонты. Для некоторых видов работ привлекаются специализированные организации.

Все выполнение работы регистрируются в журнал технического обслуживания. На каждой станции планируется план работ по обслуживанию с указанием периода их выполнения, назначаются ответственные за выполнения.

Периодичность плановых ремонтов составляется на основании опыта эксплуатации оборудования, анализе причин и факторов, его повреждаемости. В НТД указанно три вида плановых ремонтов: текущий, средний, капитальный. Стоимость всех видов работ увеличивается после окончания срока службы, в связи с увеличением объемам работ.

Текущий ремонт необходим для обеспечения работы оборудования с технико-экономическими показателями, близкими к проектным, до следующего планового ремонта. Заменяются отдельные быстроизнашиваемые детали и узлы оборудования, устраняются неисправности [12].

Средний ремонт служит для восстановления оборудования путем его замены основных частей или исправления неисправностей. При таком ремонте возможен капитальный ремонт дутьевого вентилятора, дымососа и работы на поверхностях нагрева котлов. Проверяется и обеспечивается центровка деталей, в соответствии с нормами. Проводится диагностика, осмотр и устранение дефектов в системах регулирования, валоповоротном устройстве и на подшипниках. Средний ремонт отличается меньшим объемом работ и периодичностью, чем капитальный. А также операции не требуют длительного простоя оборудования [12].

При капитальном ремонте весь агрегат, ресурс всех деталей и узлов восстанавливается полностью. При невозможности их восстановить производят замену узлов и деталей [12].

Во время неплановых ремонтов выполняются работы, обеспечивающие безотказную эксплуатацию энергетического оборудования, с технико-экономическими показателями принятых в НТД, до ближайшего планового ремонта.

Виды ремонта отличаются друг от друга трудоемкостью, сложностью и объемом работ. Все они направлены на достижения одной цели – обеспечение экономической работы и надежности ТЭЦ.

Текущие, средние и капитальные ремонты выполняются через регламентируемые промежутки времени. Содержание и объемы работ повторяются. В таблице 2 представлен двенадцатилетний ремонтный цикл котлов на твердом топливе [12].

Таблица 2 – Двенадцатилетний цикл ремонтов

Год ремонта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вид ремонта	т.	с.	т.	к.	т.	с.	т.	к.	т.	с.	т.	к.
Продолжительность ремонта, сутки	16	27	16	49	16	27	16	60	16	27	16	70

т. – текущий ремонт; с. – средний ремонт; к. – капитальный ремонт.

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что текущий и средний ремонты не имеют установленную продолжительность ремонта. Другая ситуация происходит с капитальным ремонтом, продолжительность ремонта увеличивается с годами. Это происходит из-за увеличения объемом работ, касающихся физического старения и износа.

2.3 Техническое диагностирование котлов

Техническое диагностирование – комплекс операций с применением методов неразрушающего и разрушающего контроля, выполняемых в процессе эксплуатации в пределах срока службы, в случаях, установленных руководством по эксплуатации, и при проведении технического освидетельствования для уточнения характера и размеров выявленных дефектов, а также по истечении расчетного срока службы оборудования под давлением или после исчерпания расчетного ресурса безопасной работы в рамках экспертизы промышленной безопасности в целях определения возможности, параметров и условий дальнейшей эксплуатации этого оборудования [10].

Техническое диагностирование проводится в период эксплуатации котлов, а так же после окончания срока службы. Срок службы для котлов указывается в паспорте и устанавливается заводом изготовителем [8].

В случае, если конструкция котлов ограничивает доступность для контроля и осмотра основных элементов, срок службы может быть уменьшен по выводам специализированной организации, имеющей разрешение на проведение технического диагностированию котлов.

Техническое диагностирование следует проводить не реже чем раз в восемь лет. Это проводится с целью соответствия параметров котла требования нормативной документации, а так же выявления ухудшения характеристик.

В соответствие с инструкциями [13] определяются объемы, методы и периодичность диагностирования.

При нахождении дефектов, которые превышают значения норм, необходимо выполнить расчеты на прочность. По результатам расчета определяется необходимость ремонта, частичной или полной замены элементов оборудования, а так же возможность дальнейшей эксплуатации.

Техническое диагностирование котла, после окончания срок службы, включает в себя [8]:

- наружный и внутренний осмотры;
- измерение геометрических размеров;
- измерение выявленных дефектов;
- контроль сплошности сварных соединений неразрушающими, методами дефектоскопии;
- ультразвуковой контроль толщины стенки;
- определение твердости с помощью переносных приборов;
- лабораторные исследования свойств и структуры материала основных элементов;
- прогнозирование, на основании анализа результатов технического диагностирования и прочностных расчетов, возможности, предельных рабочих параметров, условий и сроков дальнейшей эксплуатации котла.

Методы и объемы работ по диагностированию котла, отработавшего срок службы определяются документом [14].

2.3.1 Организация проведения технического диагностирования

Техническое диагностирование и подготовка к нему должен проводить владелец котла. Диагностирование котлов, выработавших рабочий ресурс (40 лет и более) или поставленные из другой страны, должны проводить специализированные организации. Организации должны иметь разрешение (лицензию) органов Ростехнадзора России на проведение и оформление.

Контроль неразрушающими методами должны проводить специалисты, аттестованные в соответствии с «Правилами аттестации специалистов по неразрушающему контролю» и имеющие квалификационный уровень не ниже второго [15].

Расчеты на прочность должны вестись по правилам государственных стандартов. Вся аппаратура для контроля параметров должна отвечать требованиям нормативных документов, а так же пройти проверку в необходимые сроки.

Перед проведением технического диагностирования котлы должны быть остановлены, одренированы, охлаждены, изоляция и обмуровка полностью или частично удалены.

Владелец котла обязан предоставить специализированной организации, проводящей диагностирование, паспорт котла, журнал водоподготовки, ремонтный журнал, заключения по предыдущим техническим обследованиям, а так же акты предписаний инспекции Ростехнадзора [8].

2.3.2 Проведение технического диагностирования котлов

Техническое диагностирование оборудования, включает следующие мероприятия [12]:

- анализ технической и эксплуатационной документации, содержащей информацию о техническом состоянии и условиях эксплуатации;
- анализ результатов контроля металла и сварных соединений;
- анализ результатов исследования структуры и свойств металла для оборудования, работающего в условиях ползучести;
- расчет на прочность с оценкой остаточного ресурса и (или) остаточного срока службы, а также при необходимости циклической долговечности;
- обобщающий анализ результатов контроля, исследования металла и расчетов на прочность с установлением назначенного ресурса или срока службы.

После анализа данных составляется типовая программа проведения диагностирования.

В типовых программах определяются:

- основные элементы котлов, работающих в тяжелых условиях;
- методы и объемы контроля, а так же исследования механических свойств металла элементов.

В программах используются следующие методы контроля [8]:

- визуальный контроль;
- цветной контроль проникающими веществами;
- ультразвуковой контроль;
- ультразвуковая толщинометрия;
- магнитопорошковая дефектоскопия;
- химическое травление;
- токовихревой контроль;
- измерение твердости;
- метод реплик;
- магнитный контроль;
- ревизия опорно-подвесной системы.

В программе по проведению технического диагностирования должны быть найдены основные зоны, элементы подлежащие контролю и определены объемы и методы неразрушающего контроля, а также необходимость в лабораторных исследованиях свойств и структуры стали.

Измерительный и визуальный контроль проводятся для обнаружения и измерения дефектов, образовавшихся в процессе эксплуатации или во время ремонта или монтажа.

По результатам измерительного и визуального контроля необходимо составить программу технического диагностирования, определить объемы и методы неразрушающего контроля.

При выявление в результате контроля дефекты необходимо нанести на схемы с описанием их формы, местоположения и размеров.

Особое внимание во время визуального контроля следует заострять на следующие факторы [12]:

- появление трещин на сварных стыках, опускных или перепускных труб, на кромках трубных отверстий и т.д.;
- появление коррозионных повреждений барабанов, коллекторов, выносных циклонов, трубах поверхностей нагрева в местах нарушения тепловой изоляции.

Ультразвуковой контроль проводится в соответствии с требованиями нормативных документов с целью определения утонения стенки элементов парового котла в процессе его эксплуатации. Результаты контроля толщины стенки элементов обязаны быть оформлены таблицами, а так же протоколами [16].

Исследование механических свойств и химического состава металла следует проводить в следующих случаях [12]:

- при неудовлетворительных результатах измерения твердости переносным прибором;
- при обнаружении изменений в микроструктуре по данным металлографического анализа на сколах;
- при необходимости установления причин появления дефектов, влияющих на работоспособность;
- при использовании во время ремонта материалов, на которые отсутствуют сертификатные данные.

Гидравлические испытания необходимо проводить после результатов технического диагностирования, а так же после устранения выявленных дефектов, в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов [12].

Параметры проведения:

- температура воды при испытании должен быть не менее 15 °С;

- время выдержки под давлением должен быть не менее 20 минут;
- значение пробного давления устанавливается в зависимости от разрешенного рабочего давления.

Расчеты на прочность должны быть выполнены специализированными организациями, в соответствии с требованиями [17].

2.4 Продление срока службы

Паровой котел после технического диагностирования может быть допущен к эксплуатации при сниженных или расчетных параметрах на срок не более, чем четыре года. Разрешение выносится на основании положительных результатов диагностирования, гидравлических испытаний и прочностных расчетов [8].

Дальнейшая безопасная эксплуатация парового котла возможна на основании соответствия элементов условия прочности, установленным РТМ 108.031.111 или ОСТ 108.031.08, ОСТ 108.031.09, ОСТ 108.031.10, а так же выполнение требований РД 34.17.435-95.

Если условия прочности элемента не выдерживают расчетную температуру и давление, продление срока возможна при пониженных параметрах, после замены элемента котла или после ремонта. Изменение механических свойств металла или сварных соединений от требований нормативной документации следует учитывать при расчетах на прочность. Давление, разрешенное по результатам технического диагностирования, не должно быть ниже, чем установлено заводом при изготовлении [12].

По истечению сроков использования котла следует провести новое техническое диагностирование. Это проводится для определения возможности эксплуатации котла в дальнейшем и его условий работы и сроков продления.

На основании выводов и рекомендаций экспертного заключения специализированной организации, владелец составляет решение содержащее конкретные предложения по условиям и срокам продления. Решение о

дальнейшей эксплуатации оборудования утверждается в Ростехнадзоре России и вносится владельцем оборудования в паспорт [8].

Подводя итог по продлению срок использования котельного агрегата после выработки расчетного срока службы можно составить схему, рисунок 5 [18].



Рисунок 5 – Схема работ после выработки расчетного ресурса котла

2.5 Реконструкция и модернизация

Реконструкция и модернизация является плановыми мероприятиями на ТЭС, большинстве случаев совмещаются с капитальными ремонтами.

Реконструкция – это комплекс конструктивных решений направленных на улучшение функционирования оборудования или для возможности использования его по другому назначению, путем обширных изменений,

затрагивающих сущность конструкции, технологической схемы и компоновки [12].

Модернизация – это изменение начальных конструктивных решений работающего оборудования, в соответствии с новыми требованиями, которые обеспечивают улучшенные показатели надежности, работы, а также снижение материальных и энергетических затрат при эксплуатации, ремонте и техническом обслуживании [12].

Проведение реконструкции и модернизации должно определяться уровнем экономичности и надежности оборудования. Целесообразность модернизации неэффективного оборудования определяется сравнением затрат на установку нового оборудования с затратами на модернизацию. Реконструкцию и модернизацию проводят специализированные строительно-монтажные и ремонтные организации.

Модернизация проводилась на Барнаульской ТЭЦ-2. Была произведена частичная замена парового котла БКЗ-210-140Ф. Установка новых поверхностей нагрева (газаплотных) была проведена на старый фундамент в те же геометрические размеры каркаса, так же было принято решение оставить барабан старого котельного агрегата [19].

Работы проводимые по барабану:

- диагностика;
- устранение дефектов по результатам диагностики;
- проведение поверочных расчетов;
- определение остаточного срока службы;
- принятие решения о его дальнейшем использовании при реконструкции

котла.

Работы проводимые по металлоконструкциям:

- диагностика;
- проведение поверочных расчетов;
- определение остаточного срока службы;

– принятие решения о их дальнейшем использовании при реконструкции котла.

Паровой котел типа БКЗ 210-140 Ф одnobарабанный, вертикально-трубчатый, с естественной циркуляцией и газоплотной топкой, предназначен для получения пара высокого давления при сжигании каменного угля и природного газа [19].

Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Топка является подъемным газоходом. В верхней части, на выходе из топки, расположен ширмовый пароперегреватель. В горизонтальном газоходе расположены степени конвективного пароперегревателя. В опускном газоходе расположены ступени экономайзера и трубчатого воздухоподогревателя.

Все панели топочных экранов выполнены из труб 60х6 мм, сталь 20, с вваркой полосы 5х20 мм между ними.

Барабан котла с внутренним диаметром 1600 мм, длиной цилиндрической части 11300 мм, толщиной стенки цилиндрической части 112 мм, выполнен из стали 16 ГНМА. По анализам повреждений барабаны из стали 22 К лучше, чем 16 ГНМА, которые установлены на Северной ТЭЦ.

Объем документации необходимой для проведения монтажа:

- перечень монтажных чертежей;
- отправочная ведомость;
- комплект монтажных чертежей котла;
- инструкция по монтажу котла;
- инструкция по складированию и хранению оборудования.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Хозяйственные цели научного исследования

В настоящее время очень большой упор делается на экономичность как оборудования, так и работы по его ремонту монтажу и в целом всего проекта. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Из этого можно сделать вывод что, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является выявление, проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, а также модернизация устаревшего оборудования и внедрение новых более эффективных установок.

При решении задач по достижению цели была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, проводится систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках [22]:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;

– уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);

– бюджет разработки;

– уровень проникновения на рынок;

– финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ТП-230-2	БКЗ-230-9,8-2	ТП-230-2	БКЗ-230-9,8-2
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	2	4	0,14	0,28

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,13	2	4	0,26	0,52
3. Помехоустойчивость	0,03	3	3	0,09	0,09
4. Энергоэкономичность	0,1	1	4	0,1	0,4
5. Надежность	0,2	2	5	0,4	1
6. Уровень шума	0,04	2	3	0,08	0,12
7. Безопасность	0,2	1	5	0,2	1
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	2	4	0,06	0,12
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	2	4	0,08	0,16
3. Цена	0,06	2	3	0,12	0,18
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
Итого	1	23	44	1,93	4,37

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основное преимущество котла БКЗ-230-9,8-2, установленному на Северской ТЭЦ, по сравнению с котлом ТП-230-2, который был пущен в работу 1953 году, это увеличение характеристик перегретого пара. Так же обеспечивается наилучшая безопасность для сотрудников ТЭЦ, существенно возрастает надежность, в силу новизны и в следствие уменьшение затрат на ремонт основных частей котла.

5.3 Расчет капитальных вложений

На стадии предварительных экономических расчетов капитальные вложения можно определять по формуле (разработка ЦКТИ им. Ползунова):

$$\begin{aligned} K &= C_{пол} + C_{пол} \cdot P_n / 100 + K_{тр} + K_{пот} + K_{стр} = \\ &= 33593616 + 33593616 \cdot 20 / 100 + 671872,32 + 6046850,88 + 15946940 = \\ &= 59618970,8 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $C_{пол}$ – полная стоимость парового котла;

P_n – средняя рентабельность по парогенераторостроению (20 %);

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные расходы (приняты 2 % от $C_{пол}$);

$K_{пот}$ – сопутствующие затраты у потребителя;

$K_{стр}$ – затраты на строительную часть у потребителя.

Суть данной разработки заключается в том, что себестоимость изготовления парового котла ставится в зависимость от его параметров, которые в качестве коэффициентов вводятся в данную формулу:

Себестоимость парового котла

$$\begin{aligned} C_{пол} &= D \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot 2000 \cdot K_{пер} = \\ &= 230 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2000 \cdot 75 = 34041150 \text{ руб.} \end{aligned}$$

где D – часовая паропроизводительность проектируемого котла;

$K_1 - K_8$ – коэффициенты учитывающие:

$K_1 = 0,75$ – паропроизводительность проектируемого котла;

$K_2 = 1,1$ – параметры пара;

$K_3 = 1$ – перегрев пара;

$K_4 = 1,15$ – способ поставки;

$K_5 = 1$ – вид топлива;

$K_6 = 1,04$ – компоновка котла;

$K_7 = 1$ – число корпусов;

$K_8 = 1$ – тип котла;

$K_{пер} = 75$ – коэффициент пересчета на современные цены.

Транспортно-заготовительные расходы

$$K_{тр} = 0,02 \cdot C_{пол} = 0,02 \cdot 34041150 = 680823 \text{ руб.}$$

Сопутствующие затраты у потребителя

$$K_{пот} = K_m + K_{об} = 2723292 + 3404115 = 6127407 \text{ руб.},$$

где $K_m = 0,08 \cdot C_{пол} = 0,08 \cdot 34041150 = 2723292$ руб. – затраты на монтаж оборудования парового котла;

$K_{об} = 0,1 \cdot C_{пол} = 0,1 \cdot 34041150 = 3404115$ руб. – затраты на обмуровку котла.

Стоимость фундамента

$$K_{ф} = D \cdot k_{ф} = 230 \cdot 9192,5 = 2114275 \text{ руб.},$$

где $k_{ф} = \eta \cdot 10^4 = 0,91925 \cdot 10^4 = 9192,5$ руб – коэффициент, учитывающий влияние производительности котла на стоимость фундамента.

Из таблице 6 видно, что полная замена котла на новый обойдется в сумму равную 42936,655 тысяч рублей.

Таблица 6 – Сводная таблица капитальных вложений в сооружение парового котла

Состав капитальных вложений	Величина	
	Тыс.руб.	%
Себестоимость парогенератора	34041,15	79,28
Затраты на монтаж	2723,292	6,34
Затраты на обмуровку	3404,115	7,93
Стоимость фундамента	2114,275	4,92
Транспорты -заготов. Расходы	680,823	1,59
Общие капитальные вложения	42936,655	100

Далее представлен еще один способ капиталовложений, при расчетах и строительстве используем переходную раму. В результате уменьшаются затраты на строительство, так как котел устанавливается на старый фундамент.

Стоимость при использовании переходной рамы:

$$K_{np} = K - K_{\phi} = 42936,655 - 2723,292 = 40213,363 \text{ руб.}$$

Цена несущественно уменьшилась, однако при этом методе возможен монтаж парового котла с большей паропроизводительностью.

Так же в некоторых случаях не производится замена барабана и каркаса котла, в связи с тем, что они имеют большой запас прочности. Барабан и каркас парового котла проходят техническое диагностирование, после чего принимается решение об их дальнейшем использовании.

В котлах высокого давления масса каркаса составляет 25 % всей массы металла котла или 0,8–1,2 т на тонну его часовой производительности [23], масса всего котла составляет 920 тонн, соответственно масса каркаса 230 тонн. Стоимость 230 тонн стали СТЗсп5 составляет около 7302,5 тысяч рублей. Барабан котла БКЗ-230-9,8-2 изготавливается из стали 22к и имеет массу 59,8 тонны, его цена 3253,4 тысяч рублей.

Стоимость без учета барабана, каркаса и фундамента:

$$K_{\text{бкф}} = K - K_{\phi} - K_{\text{б}} - K_{\text{к}} = 42936,655 - 2723,292 - 3253,4 - 7302,5 = 29657,463 \text{ руб.}$$

Стоимость заметно уменьшилась, однако хочется отметить, что при частичной замене со временем увеличатся затраты на диагностику и ремонт нетронутых частей котла.

Износу подвергаются не только котел, но и котельно-вспомогательное оборудование (КВО), целесообразнее при замене парового котла и менять КВО. Это значительно уменьшит затраты на его диагностику, а так же на ремонт устаревшего, как морально, так и физически, оборудования.

Результаты всех методов показывают, что метод частичной замены наиболее экономически выгодный (таблица 7).

Таблица 7 – Стоимость затрат на замену выработавший свой ресурс паровых котлов

Метод замены парового котла	Величина затрат тыс.руб
Монтаж котла на новый фундамент	42936,655
Монтаж котла на старый фундамент	40213,363
Частичная замена	29657,463

Список публикаций студента

- 1 Весельев А.П. Технические основы продления сроков эксплуатации котлов // Научный альманах. – 2016. (в печати).